

УДК 624.132.002.51.001.24

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПУ СТВОРЕННЯ ЗЕМЛЕРИЙНО-ЯРУСНИХ МАШИН

**С.В. Кравець, професор, д.т.н., О.П. Лук'янчук, доцент, к.т.н.,
О.В. Косяк, аспірант,**

**Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне**

Анотація. Проаналізовано недоліки конструкцій існуючих багатоярусних робочих органів, з точки зору енергоємності процесу, та обґрунтовано напрями оптимізації їх параметрів.

Ключові слова: критична глибина, ярус, робочий орган, ґрунт, енергоємність.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИНЦИПА СОЗДАНИЯ ЗЕМЛЕРИЙНО-ЯРУСНЫХ МАШИН

**С.В. Кравец, профессор, д.т.н., А.П. Лукьянчук, доцент, к.т.н.,
А.В. Косяк, аспирант,**

**Национальный университет водного хозяйства и природоиспользования,
г. Ровно**

Аннотация. Проанализированы недостатки конструкций существующих многоярусных рабочих органов, с точки зрения энергоёмкости процесса, и обоснованы направления оптимизации их параметров.

Ключевые слова: критическая глубина, ярус, рабочий орган, грунт, энергоёмкость.

IMPROVING THE CONCEPT DESIGN OF EARTHMOVING-LONGLINE MACHINES

**S. Kravets, Professor, Doctor of Engineering Sciences, O. Lukyanchuk,
Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, O. Kosiak, post-graduate,
National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne**

Abstract. Design shortcomings of existing multi-tier work tools in terms of power intensity have been analysed. Ways to improve their parameters have been substantiated.

Key words: critical depth, tier, tool, soil, power intensity.

Вступ

Безтраншейне укладання підземних комунікацій пасивними землерійними робочими органами (ЗРО) здійснюється до 2 м і більше. Якщо необхідна глибина прокладання є більшою за критичну глибину різання, для усунення закритичної зони ущільнення ґрунту і зниження енергоємності робочого процесу формування щілини необхідно здійснювати багатоярусними ЗРО [1].

Аналіз публікацій

Основним принципом створення землерійно-ярусних машин є забезпечення роботи кожного ріжучого елемента на докритичній глибині, незалежно від загальної глибини розробки ґрунту. У частковому випадку, якщо загальна глибина розробки ґрунту не перевищує двох критичних глибин $H \leq h_{кр1} + h_{кр2}$ ($h_{кр1}$, $h_{кр2}$ – критичні глибини різання відповідно у верхньому і наступних

нижніх ярусах), для усунення закритичної зони ущільнення робочий процес достатньо здійснювати за двоярусною схемою, а якщо $(h_{кр1} + h_{кр2}) < H \leq h_{кр1} + (Z - 1)h_{кр2}$, де Z – кількість ярусів, то необхідно застосовувати багатоярусну схему руйнування [1, 2].

Мета і постановка задачі

З метою зменшення енергоємності процесу багатоярусними робочими органами розглянемо такі задачі: проведемо аналіз конструкцій існуючих багатоярусних робочих органів, визначимо їх недоліки, з точки зору енергоємності процесу, визначимо залежність енергоємності процесу від конструкційних параметрів ярусів, обґрунтуємо напрями оптимізації параметрів.

Аналіз конструкцій робочих органів

Класифікаційну блок-схему відомих конструкцій багатоярусних ЗРО наведено на рис. 1.

Визначальною операцією при поярусній розробці є транспортування ґрунту, яке здійснюється із зони різання кожного ярусу в напрямку найменшого опору. Таким напрямком може бути денна поверхня або штучно підготовлена робочим органом порожнина. Залежно від напрямку транспортування багатоярусні ЗРО та їх процеси відомі з транспортуванням ґрунту [3]: 1) на денну поверхню; 2) розміщені вище у яруси; 3) комбінованим; 4) внутрішньо-ярусним.

Аналіз відомих багатоярусних конструкцій ЗРО (рис. 1) і процесів [1] виявив такі їх недоліки: складність і громіздкість деяких конструкцій, великі габарити, незадовільні умови поярусного транспортування ґрунту, негативний технологічний вплив на навколишнє ґрунтове середовище (часткове ущільнення ґрунту у бічні стінки щілини) та інші. Все це призводить до збільшення енергоємності багатоярусних робочих процесів і металомісткості робочого обладнання.

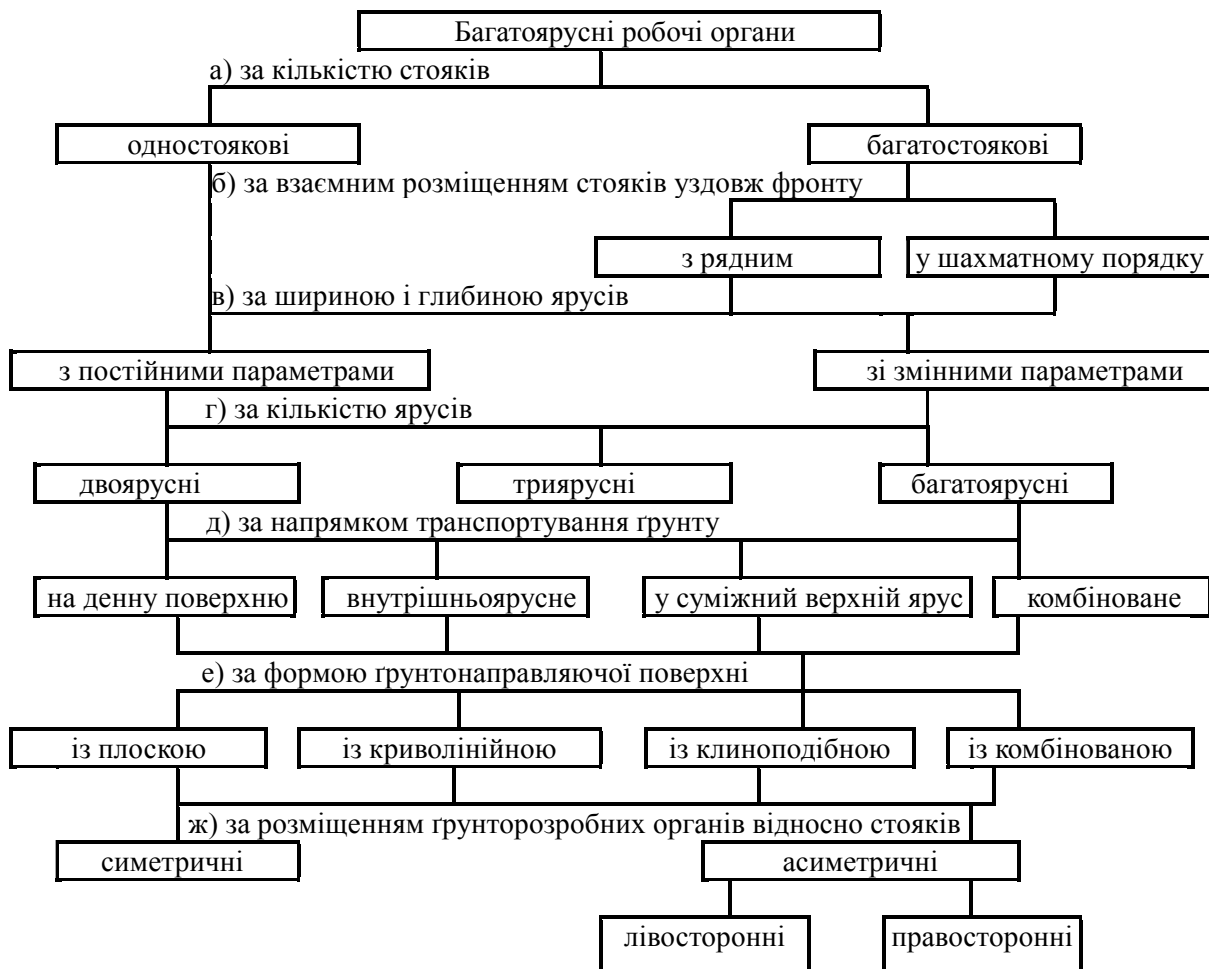


Рис. 1. Класифікаційна блок-схема відомих конструкцій багатоярусних ЗРО

З метою усунення вище вказаних недоліків проведено структурну оптимізацію багатоярусних ЗРО, яка ґрунтується на таких принципах [1, 4, 5, 6]:

1. Поділ різального інструмента на ґрунторозробні органи і розміщення їх у просторі має здійснюватися таким чином, щоб кожний попередній ґрунторозробний орган створював найсприятливіші умови розробки ґрунту для кожного наступного органа (принцип незалежності роботи попередніх ґрунторозробних органів від наступних).

2. Транспортування ґрунту у напрямку звільненого простору має здійснюватися: а) для безвідвальних ЗРО – за умови, що витрата ґрунту, який поступає на ґрунторозробний орган у нижньому ярусі, не перевищує витрат ґрунту, який проходить через вікна у суміжному верхньому ярусі (принцип рівності витрат ґрунту); б) для відвальних ЗРО – за умови, що площа поперечного перерізу зрізу ґрунтового шару ґрунту є не більшою за площу прохідних вікон у кожному ярусі (принцип рівності площ). Транспортування ґрунту може здійснюватися без обертання пластів у фронтальній площині (принцип рівності витрат) і з їх зворотним обертанням на кут $\pi/2$ (принцип рівності площ), а також на комбінованому принципі.

Для прокладання підземних комунікацій найоптимальнішим за структурою є відомий

ЗРО, створений на основі принципу незалежності роботи попередніх ґрунторозробних органів від наступних і принципу рівності об'ємних витрат ґрунту у суміжних ярусах. Суть принципів показано на рис. 2 [1].

Процес формування щілини здійснюється ґрунторозробними органами, рознесеними по вертикалі на величину

$$h_k = (\text{ctg}\alpha_p \cdot \text{tg}\beta_{\text{тр}})^{Z-k} \cdot h_z \leq h_{\text{кр}}, \quad (1)$$

де h_k – висота k -го ярусу; k – його порядковий номер, рахуючи зверху вниз; $h_z, h_{\text{кр}}$ – висота розробки ґрунту у нижньому ярусі та критична глибина різання у k -му; $Z, \alpha_p, \beta_{\text{тр}}$ – відповідно кількість ярусів, кути різання ґрунторозробних органів і нахил стояка (несучої рами) до горизонту у напрямку руху (якщо $\alpha_p = \beta_{\text{тр}}$, $h_k = h_z$ – рівномірне рознесення).

Така розстановка ґрунторозробних органів на нахиленому у напрямку руху стояку (рамі) виключає можливість перекриття їх проєкцій на горизонтальну і фронтальну площини, тим самим забезпечуючи принцип незалежності роботи попередніх органів від наступних і усуваючи додаткові сили тертя шарів ґрунту при їх русі у між'ярусному просторі.

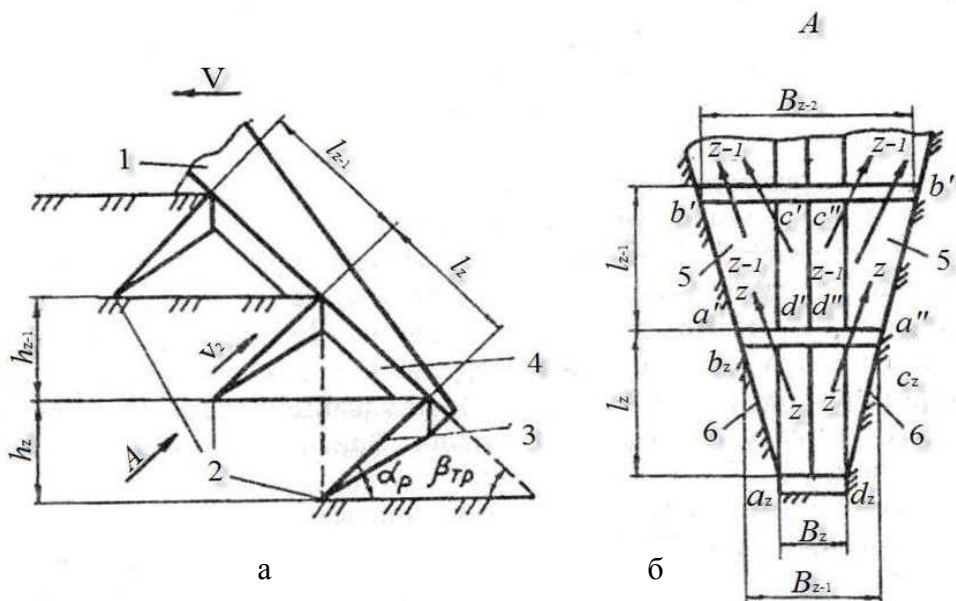


Рис. 2. Схеми реалізації принципів незалежності роботи ґрунторозробних органів і рівності витрат ґрунту в суміжних ярусах: а – вигляд збоку; б – вигляд за стрілкою А; 1 – схилений (у напрямку руху) стояк; 2 – різальні кромки; 3 – ґрутонапрямні елементи; 4 – клинопо-

дібний ґрунторозсікач; 5 – прохідні вікна; 6 – бічні стінки щілини. Ширина ярусів B_z, B_{z-1}, B_{z-2} і т.д. є змінною, збільшується від нижнього ярусу до верхнього закономірно. Вибір ширини базується на принципі рівності витрат ґрунту, який подається із нижнього у суміжний верхній ярус. Об'єм ґрунту, який поступає на ґрунторозробний орган за одиницю часу у нижньому ярусі, дорівнює добутку площі фронтальної проекції трапеції a_z, b_z, c_z, d_z (рис. 2, б), яка утворюється різальними кромками 2 двох суміжних ґрунторозробних органів і бічними стінками щілини 6 (площа поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту) на переносну швидкість робочого органу v . Об'єм ґрунту, який проходить за той же час через прохідні вікна 5 у суміжному верхньому ярусі між різальними кромками 2, схиленим стояком 1 і бічними стінками 6 щілини, дорівнює добутку площі $a'b'c'd' + a''b''c''d''$ на відносну швидкість ґрунту v_r [1]. Таким чином, принцип 2а для об'ємних витрат ґрунту у суміжних ярусах можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{B_z + B_{z-1}}{2} h_z v &\leq \\ &\leq \left(\frac{B_{z-1} + B_{z-2}}{2} - B_z \right) \frac{h_{z-1}}{\sin \beta_{\text{тр}}} v_r, \end{aligned} \quad (2)$$

де h_{z-1} – висота другого знизу ярусу. Площа прохідних вікон регулюється кутом $\beta_{\text{тр}}$ нахилу стояка до горизонту у напрямку руху.

Зруйнований ґрунт ковзає по напрямній 3 нижнього ярусу, огинає клиноподібний розсікач 4 і через два прохідні вікна 5 транспортується з ущільненням (до природної щільності) у верхній суміжний ярус, звільнений від ґрунту попереднім ґрунторозробним органом. Розробка і транспортування ґрунту в наступних верхніх ярусах здійснюється так само, як у нижньому ярусі.

Суттєвим недоліком описаної конструкції є ущільнення ґрунту після його руйнування у нижньому ярусі до природної щільності у суміжному верхньому ярусі. При ущільненні зруйнованого ґрунту до природної щільності зменшується ширина ярусів (ширина різання), що приводить до логічного зменшення сили різання. Але, з іншого боку, для ущільнення зруйнованого ґрунту до природної щільності необхідні додаткові витрати енер-

гії. Тому існує наукова задача параметричної оптимізації багатоярусного ЗРО, створеного на основі рівності витрат ґрунту у суміжних ярусах, з метою мінімізації тягового зусилля й енерговитрат на робочий процес.

Для дослідження необхідних витрат енергії на ущільнення зруйнованого ґрунту й оптимізації параметрів багатоярусних ЗРО, з метою мінімізації тягового зусилля, замінимо принцип рівності об'ємних витрат (2) на принцип рівності масових витрат ґрунту в суміжних ярусах. Для цього до лівої і правої частин рівності (2) введемо щільності ґрунту до розробки $\rho_{\text{пр}}$ і після його розробки $\rho_{\text{вх}}$.

$$\begin{aligned} \frac{B_z + B_{z-1}}{2} h_z v \rho_{\text{пр}} &= \\ &= \left(\frac{B_{z-1} + B_{z-2}}{2} - B_z \right) \frac{h_{z-1} \rho_{\text{вх}}}{\sin \beta_{\text{тр}}} v_r, \end{aligned} \quad (3)$$

де $\rho_{\text{пр}}$, $\rho_{\text{вх}}$ – відповідно природна щільність ґрунту і щільність зруйнованого ґрунту на вході у прохідні вікна суміжного верхнього ярусу ($\rho_{\text{пр}}/\rho_{\text{вх}} = k_p$ – коефіцієнт розпушення ґрунту).

З метою спрощення визначення ширини ярусів і подальших досліджень в основу створення багатоярусних ЗРО покладено умову, що кут нахилу бічних стінок розроблюваної щілини до горизонту по всій висоті, незалежно від ярусу, є постійним (кут γ , рис. 2, б), а руйнування і транспортування ґрунту здійснюється за принципом (3).

Котангенс кута нахилу γ в нижньому і суміжному верхньому ярусах для рівномірного рознесення ярусів по вертикалі відповідно залежності (1) $h_k = h_z = h$ (для $\alpha_p = \beta_{\text{тр}}$) дорівнює

$$\text{ctg} \gamma = \frac{B_{z-1} - B_z}{2h} = \frac{B_{z-2} - B_{z-1}}{2h} = \text{const}, \quad (4)$$

$$\text{звідки} \quad B_{z-1} = \frac{B_z + B_{z-2}}{2}. \quad (5)$$

Із рівності (3), з урахуванням (5)

$$\frac{v_r}{v} = \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha_p + \psi)}, \quad (6)$$

$$\text{маємо} \quad B_{z-2} = \frac{1+\theta}{\theta - \frac{1}{3}} \times B_z, \quad (7)$$

$$\text{де } \theta = \frac{\rho_{\text{вх}} \sin \psi}{\rho_{\text{тр}} \sin \beta_{\text{тр}} \sin(\alpha_p + \psi)},$$

ψ – кут сколювання ґрунту в поздовжній (профільній) площині [1]

$$\psi = a_\psi + k_\psi \alpha_p, \quad (8)$$

де a_ψ , k_ψ – коефіцієнти інтерполяції, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунтів; α_p – кут різання ґрунторозробного органа.

Тоді

$$B_{z-1} = \frac{\theta + 1/3}{\theta - 1/3} \times B_z; \quad (9)$$

$$\text{ctg} \gamma = \frac{B_z}{h(3\theta - 1)}. \quad (10)$$

Після проміжних перетворень ширина будь-якого ґрунторозробного ярусу, рахуючи зверху вниз, дорівнює

$$B_k = B_z + 2h(z-k)\text{ctg} \gamma = \left[1 + \frac{2(z-k)}{3\theta - 1} \right] B_z, \quad (11)$$

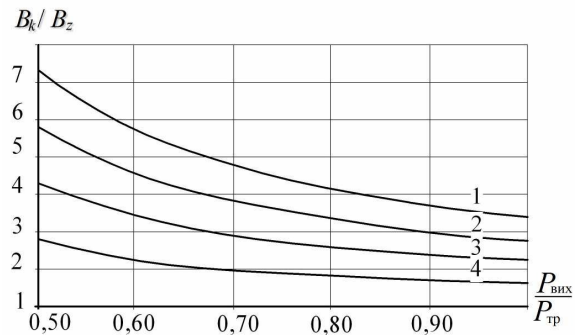
де $z \geq \frac{H}{h}$; H – проектна глибина розроблюваної щілини.

Залежність (11) суттєво спрощує подальші дослідження і розрахунки, в порівнянні із системою нерівностей [1], яка унеможливає оптимізацію параметрів багатоярусних ЗРО класичними методами.

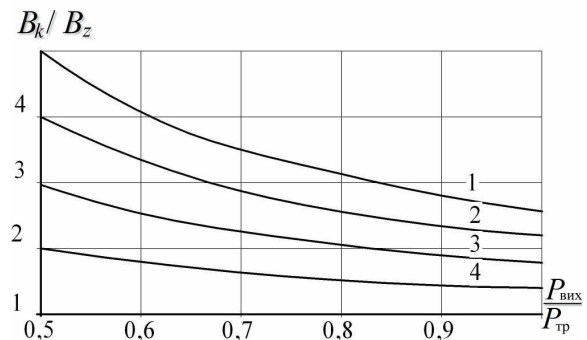
У випадку деформування і стискання ґрунтової стружки у деформуючій камері (регулюється розмірами прохідних вікон) щільність ґрунту на виході прохідних вікон передостаннього ярусу буде збільшуватися на певну величину від $\rho_{\text{вх}}$ до $\rho_{\text{вих}}$, а швидкість зміниться від v_r до v_b . Тоді параметр θ у формулах (7)–(11) визначиться за залежністю

$$\theta = \frac{v_b}{v \sin \beta_{\text{тр}}} \times \frac{\rho_{\text{вих}}}{\rho_{\text{тр}}}. \quad (12)$$

На рис. 3 і 4 наведено графічні залежності, побудовані за отриманими аналітичними залежностями. Показано залежності ширин багатоярусного ЗРО від кількості ярусів і швидкостей розробки та транспортування ґрунту через прохідні вікна у розпушеному (рис. 3) і підпресованому (рис. 4) станах.



а) ($v_b/v = v_r/v = 0,75$)



б) ($v/v = 1, \alpha_p = \beta_{\text{тр}} = 30^\circ$)

Рис. 3. Залежність відношення ширини ярусів багатоярусного ЗРО від щільності ґрунту на виході із прохідних вікон передостаннього ярусу:

- 1) $\frac{B_1}{B_z}$ для $Z=5$;
- 2) $\frac{B_2}{B_z}$ для $Z=5$, $\frac{B_1}{B_z}$ для $Z=4$;
- 3) $\frac{B_3}{B_z}$ для $Z=5$, $\frac{B_2}{B_z}$ для $Z=4$, $\frac{B_1}{B_z}$ для $Z=3$;
- 4) $\frac{B_4}{B_z}$ для $Z=5$, $\frac{B_3}{B_z}$ для $Z=4$, $\frac{B_2}{B_z}$ для $Z=3$.

Для всіх варіантів багатоярусного ЗРО можна приймати $B_1=B_2$ тому що у верхньому ярусі формується трапецеїдальна щілина із природними розвалами бічних стінок, об'єм якої дозволяє прийняти об'єм ґрунту у роз-

пушеному стані, який зруйновано у суміж-

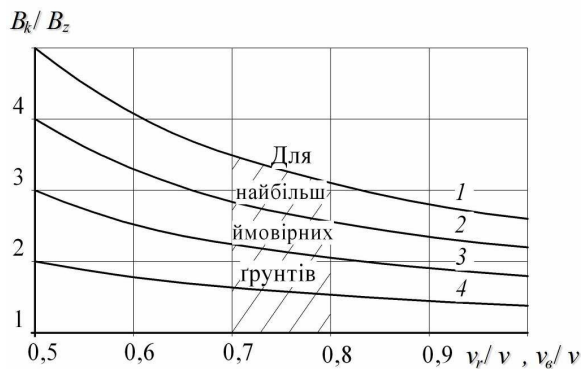


Рис. 4. Залежність відношення ширини ярусів від співвідношення швидкостей транспортування ґрунту через прохідні вікна ($\alpha_p = \beta_{тр} = 30^\circ$, $\rho_{вих} = \rho_{пр}$, $\kappa_p = 1$):

- 1) $\frac{B_1}{B_z}$ для $Z=5$;
- 2) $\frac{B_2}{B_z}$ для $Z=5$, $\frac{B_1}{B_z}$ для $Z=4$;
- 3) $\frac{B_3}{B_z}$ для $Z=5$, $\frac{B_2}{B_z}$ для $Z=4$, $\frac{B_1}{B_z}$ для $Z=3$;
- 4) $\frac{B_4}{B_z}$ для $Z=5$, $\frac{B_3}{B_z}$ для $Z=4$, $\frac{B_2}{B_z}$ для $Z=3$

Висновки

Аналіз графічних залежностей на рис. 3 показує, що ширина ярусів (ширина різання) багатоярусного ЗРО зі збільшенням щільності зруйнованого ґрунту на виході із прохідних вікон деформуючих камер зменшується, тобто сила нарізання ґрунту логічно повинна зменшуватися. З іншої сторони, ущільнення зруйнованого ґрунту багатоярусним ЗРО у процесі транспортування його через деформуючі камери призводить до збільшення енерговитрат на транспортування ґрунту. Тому потрібно дослідити темпи змін питомих опорів багатоярусному різанню і від перерформатування, а також ущільнення шарів ґрунту в деформуючих камерах.

Із рис. 4 видно, що розміри прохідних вікон суттєво залежать від співвідношення швидкостей руху ґрунту на вході і виході деформуючої камери. Ширину ярусів можна змен-

ному нижньому ярусі.

шити за рахунок збільшення швидкості руху ґрунту на виході із прохідних вікон, але це призведе до зайвих витрат енергії на прискорення ґрунтових мас. Тому для збереження стабільності робочого процесу раціонально зберегти співвідношення швидкостей на вході і виході із деформуючих камер ($v_r = v_b$) у межах $\frac{v_b}{v} = \frac{v_r}{v} = 0,7 - 0,8$ (для найбільш ймовірних ґрунтів).

Література

1. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини. Основи теорії, проектування та створення / С.В. Кравець. – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
2. Машини для земляних робіт: навчальний посібник / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Нічке та ін.; за заг. ред. проф. Л.А. Хмари та проф. С.В. Кравця. – Рівне-Дніпропетровськ-Харків [б.в.], 2010. – 557 с.
3. Баладинский В.Л. Создание многоярусных ґрунтозащитных бестраншейных укладчиков подземных коммуникаций / В.Л. Баладинский, С.В. Кравец // Строит. и дор. машины. – 2000. – №1. – С. 28–33.
4. Кравець С.В. Теорія руйнування робочих середовищ: навч. посібник / С.В. Кравець. – Рівне: НУВГП, 2008. – 124 с.
5. Кравець С.В. Многоярусное разрушение массива горных пород: монография / С.В. Кравец, В.Ф. Ткачук, З.Р. Маланчук. – Ровно: НУВХП, 2007. – 268 с.
6. Кравець С.В. Машини для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций / С.В. Кравец, Н.Д. Каслин, В.К. Руднев, В.Н. Супонев; под ред. Руднева В.К. – Х.: Фавор, 2008. – 256 с.

Рецензент: В.І. Мошенко, професор, к.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 11 травня 2012 р.